

Краткие сообщения

УДК 502.05

А.В. Семакина, Л.Р. Шарипов, О.В. Газарина, И.Ю. Рубцова, Г.Р. Платунова

ВЫДЕЛЕНИЕ МЕТАНА ОТ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИЗМЕННОСТЕЙ ЗАКАМЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ

Содержание метана в значительной степени определяет окислительные свойства атмосферы и в том числе парниковых газов и загрязняющих компонентов. Целью данного исследования является оценка объемов эмиссии метана от природных источников. Опытным путем получены объемы эмиссии метана от типового участка болотного массива в пределах низменного Закамья Удмуртской Республики. Анализируя результаты, полученные в ходе проведенной работы, можно сделать вывод о том, что наиболее интенсивное поступление метана отмечается в урочищах, расположенных в пойме реки Кама и её притоков. Данные урочища характеризуются высоким уровнем увлажнения почв, и как следствие, активным протеканием анаэробных процессов в почве в теплое время года. Склоновые и водораздельные ландшафты характеризуются минимальными объемами эмиссии метана, что связано с большей степенью аэрации почв данных территориальных единиц.

Ключевые слова: метан, эмиссия, низменности Закамья, Удмуртская Республика.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-112-118

Роль метана в глобальных процессах не ограничивается его непосредственным участием в поглощении входящего инфракрасного излучения подстилающей поверхности. Содержание метана в значительной степени определяет окислительные свойства атмосферы и тем самым судьбу многих других малых газовых составляющих (МГС), в том числе парниковых газов и загрязняющих компонентов. Поэтому к источникам, закономерностям пространственно-временного распределения и атмосферной химии метана уделяется пристальное внимание [1-3]. Часть исследователей указывают в качестве глобального источника метана свалки, другие же авторы приводят данные по эмиссии метана из природных источников. Таким образом, в литературе можно найти сведения по динамике и пространственному варьированию эмиссии метана [4-9].

Б. Уолтер [10] относит транспорт метана к важнейшим факторам, влияющим на эмиссию метана, так как именно механизмы транспорта определяют количество метана, выходящего в атмосферу. Цикл метана в болотах включает в себя как продуцирование метана, так и его потребление, при этом итоговый поток метана в атмосферу очень сильно зависит от вида транспорта метана, будь то диффузия, пузырьковый транспорт или транспорт, связанный с растительностью. Изменение какого-либо фактора окружающей среды может воздействовать положительно на одни процессы и отрицательно на другие [11]. Исследователи приводят много различных факторов, определяющих эмиссию метана из болот. Т. Кристинсен [12] приводит основные факторы, определяющие эмиссию метана из тундр: почвенная влажность, температура торфа, pH и покрытие сосудистыми растениями. При этом самыми важными факторами указывается именно почвенная влажность и температура.

Болота – участки поверхности суши с избыточным увлажнением, покрытые влаголюбивой растительностью и характеризующиеся процессом образования торфа, слой которого имеет мощность не менее 0,3 м. В Удмуртии около 650 болот общей площадью 59 тыс. га. В рамках данного исследования была проведена классификация болот Удмуртской Республики по следующим классификационным признакам: геологическое строение подстилающей поверхности, почвообразующие породы, растительность.

Материалы и методы исследований

Для исследования объемов эмиссии метана было выбрано наиболее типичное для Удмуртской Республики низинное (старичное) болото, относящееся к Дулесовскому болотному массиву [13; 14]. Исследуемый участок болотного массива находится в юго-восточной части Удмуртской Республики, располагается на территории Камбарского района, приблизительно в 12 км к востоку от города Камбарка.

Древесно-кустарниковая растительность данного участка болота разреженная и представлена ольхой серой, берёзами пушистой и повислой, ивой трёхтычинковой, изредка ивами пепельной и мирзинолистной. Общее проективное покрытие травостоя приближается к 100 %, средняя высота 60 см.

Осенью 2016 г., весной и летом 2017 г. было проведено исследование состояния атмосферного воздуха вблизи типового участка низинного болота на территории Удмуртской Республики. Исследования проводились на предмет определения концентраций по следующим веществам: оксид углерода (CO); формальдегид (НСОН); метилбензол-толуол (С₇Н₈); бензол (С₆Н₆); этилбензол (С₈Н₁₀); метан (СН₄); ксилол ((СН₃)₂С₆Н₄); углеводороды (С₁–С₁₀); фенол – гидроксibenзол (С₆Н₅ОН); сероводород (Н₂С). Общее количество отборов проб воздуха по каждому компоненту из поллютантов в воздухе на территории вблизи исследуемого болота осуществлялись при помощи газоанализатора ГАНК-4, предназначенного для автоматического непрерывного контроля концентраций химических веществ в атмосфере. Для определения динамики концентраций веществ в течение часа в заданном объеме была изготовлена измерительная камера [11]. Измерительная камера сделана из пластикового прозрачного материала. Верхняя часть измерительной камеры покрыта светоотражающим материалом – фольгой. Нижняя часть измерительной камеры герметично соприкасалась с земной поверхностью. Размеры измерительной камеры 61×40,5×33 (длина × ширина × высота). Объем измерительной камеры составил 81,5 дм³. Измерения, проводимые по данной методике, позволяли определять концентрации химических веществ в пространстве измерительной камеры, после его изолирования от поступления химических веществ непосредственно от природного источника, за определенный момент времени (50–60 мин) (рис. 1). В рамках данного исследования проводились измерения концентраций поллютантов в фоновой точке, на удалении от антропогенных и природных источников эмиссии метана на 1000 м. Таким образом, в измерительной камере изменялись концентрации химических веществ в течение определенного промежутка времени. Зная разницу концентраций, путем математических расчетов получали объемы эмиссии метана.



Рис.1. Фотография места проведения исследования (автор фото Л.Р. Шарипов)

Одновременно с отбором проб атмосферного воздуха определялись метеорологические показатели (температура воздуха, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра). Метеорологические показатели измерялись автоматическим прибором «Метеоскоп-М». Также с помощью навигатора Garmin Oregon 600 были определены точные координаты крайних точек болотного массива и рассчитана площадь исследуемого участка болотного массива.

В рамках данной работы, в теплый период 2018–2019 гг. были дополнительно проведены исследования концентраций метана в атмосферном воздухе в пойменных, склоновых и водораздельных урочищах низменного Закамья [15] или Камского физико-географического района Удмуртской Республики, согласно классификации В.И. Стурмана [13]. В общей сложности были изучены концентрации метана в 15 контрольных точках. Выбор точки осуществлялся исходя из целей достижения максимальной репрезентативности результатов полученных исследований.

В процессе работы для статистической обработки полученных материалов использован метод парной корреляции.

Результаты и их обсуждение

В ходе анализа изменений концентрации метана и других химических веществ в измерительной камере в теплый период 2018–2019 гг. на фоне снижения значений концентрации метана от $14,9\text{--}10,2\text{ мг/м}^3$ до $7,5\text{--}4,71\text{ мг/м}^3$ (~ на 48,2 %) можно отметить стабильный рост формальдегида с $0,002265\text{ мг/м}^3$ до $0,0445\text{ мг/м}^3$ (~ на 115 %) и сероводорода с $0,0001624\text{ мг/м}^3$ до $0,001046\text{ мг/м}^3$ (~ на 295 %). При этом необходимо отметить снижение (~ на 45,3 %) концентрации по оксиду углерода, метилбензолу (толуолу), бензолу, этилбензолу, ксилолу, предельным углеводородам и фенолу.

В процессе исследований в холодный период года (среднесуточные температуры атмосферного воздуха ниже $0\text{ }^\circ\text{C}$) эмиссии загрязняющих веществ от болотного массива зафиксированы не были. Вариативность значений, полученных в ходе измерений в разные промежутки времени в теплый период года может объясняться изменением погодных условий и, как следствие, различными условиями геохимической миграции элементов. Более интенсивно процесс эмиссии проявлялся при низкой влажности и температурах выше $20\text{ }^\circ\text{C}$. Погрешность полученных результатов в рамках измерения по одному элементу не превышала 0,2 от среднего значения. Для выявления статистически значимых корреляционных связей между объемами эмиссии поллютантов и значениями метеорологических показателей на данный момент не сформирован достаточный объем исходной информации.

На рис. 2 отображены изменения концентраций примесей в атмосферном воздухе в долях ПДК во времени и пространстве. В то же время необходимо учитывать, что метан является основной примесью с достаточно высокими ПДК (50 мг/м^3), что существенно снижает его вклад в суммарных концентрациях в долях ПДК.

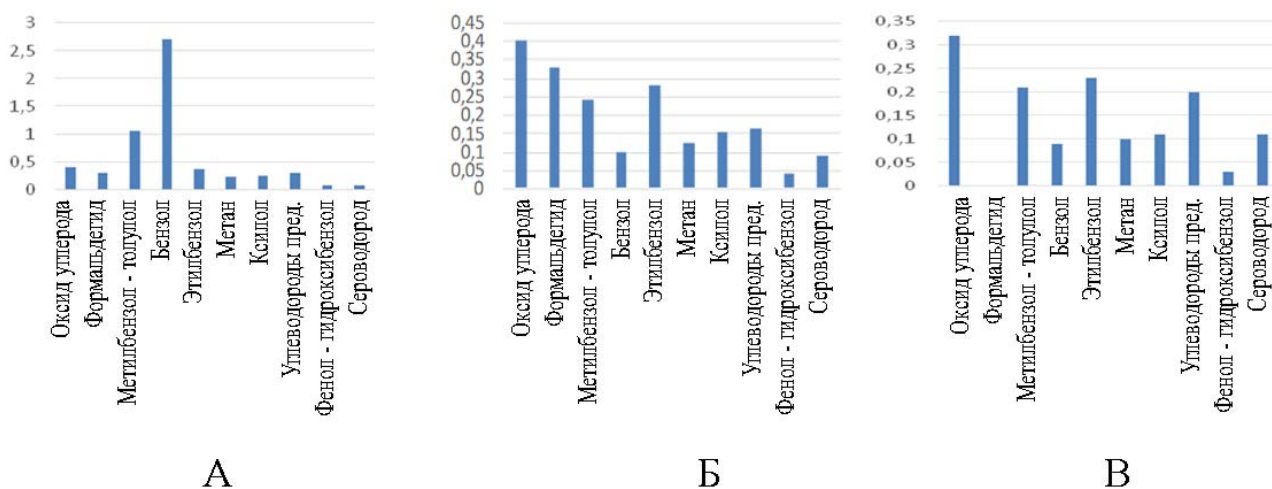


Рис. 2. Средние концентрации поллютантов за теплый период в районе Дулесовского болотного массива на начало измерений (А), через 50 мин (Б), в фонової точке (В), мг/м^3

Анализируя табл. 1, можно выделить следующие группы совместной геохимической миграции:

- 1) бензол, этилбензол, метилбензол, ксилол;
- 2) метан, метилбензол, ксилол;
- 3) углеводороды, метан, ксилол, фенол;
- 4) формальдегид и сероводород.

Для первых трех групп характерно снижение концентраций при измерении через 50 мин. Концентрации 4 группы через указанный промежуток возрастают. Можно предположить, что снижение концентраций метана (а также углерода, метилбензола – толуола, бензола, этилбензола, ксилола, предельных углеводородов C1–C12 и фенола) связано с естественными химическими процессами выведения (стока) метана и других углеводородов из окружающей среды с последующим образованием формальдегида. На данном этапе исследования причины увеличения концентраций сероводорода выявлены не были.

**Значения парной корреляции между динамикой концентраций примесей в летний период
вблизи болотного массива (значимость связи 0,98)**

	Оксид углерода	Формальдегид	Метилбензол	Бензол	Этилбензол	Метан	Ксилол	Углеводороды	Фенол	Сероводород
Оксид углерода		0,45	0,36	0,10	-0,01	0,36	0,31	0,13	-0,11	0,22
Формальдегид	0,45		0,34	0,26	-0,30	0,04	0,03	-0,18	-0,32	0,69
Метилбензол	0,36	0,34		0,91	0,55	0,64	0,73	-0,05	-0,08	0,29
Бензол	0,10	0,26	0,91		0,72	0,54	0,62	-0,09	0,07	0,36
Этилбензол	-0,01	-0,30	0,55	0,72		0,49	0,66	0,23	0,58	-0,07
Метан	0,36	0,04	0,64	0,54	0,54		0,87	0,60	0,32	-0,35
Ксилол	0,31	0,03	0,73	0,62	0,62	0,87		0,59	0,38	-0,28
Углеводороды	0,13	-0,18	-0,05	-0,09	-0,09	0,60	0,59		0,57	-0,72
Фенол	-0,11	-0,32	-0,08	0,07	0,07	0,32	0,38	0,57		-0,47
Сероводород	0,22	0,69	0,29	0,36	0,36	-0,35	-0,28	-0,72	-0,47	

Допустив предположение, что на начальный период измерений высокая концентрация метана была связана с его привносом с прилегающей, соседней территории (в то время как измерения концентраций химических веществ проводились на окраине болота). При установке измерительной камеры поступление метана прекращалось, а его концентрация в результате естественных геохимических процессов постепенно снижалась до фоновых значений. Таким образом, разница концентраций связана с эмиссией и привносом метана непосредственно с болотного массива, прилегающего к контрольной точке измерения.

Стоит отметить тот факт, что на начало измерений концентрация метана была максимальной (14,9–10,2 мг/м³) и снизившись до уровня 4,71 мг/м³ переставала изменяться. Такие же значения концентраций метана (~ 4,79 мг/м³) были получены в фоновой контрольной точке измерений на расстоянии 350 м от исследуемого участка болотного массива. Анализ процентного соотношения концентраций исследуемых газов в камере показал, что основной вклад приходится на метан, предельные углеводороды, бензол и оксид углерода.

Расчёт объёмов эмиссии метана от исследуемого участка болотного массива проводился при помощи несложных формул методом пропорций, предложенного авторами.

Полученные значения концентраций в интервале (0–5 мин.) соответствовали значениям, при которых идёт влияние природного источника эмиссии (болота). Значения, полученные в воздухе измерительной камеры через 50 мин. от момента начала измерений, показывают концентрации примесей в воздухе после изолирования от природного источника эмиссии (болота). Таким образом, модуль разницы концентраций описывает процессы образования и распада веществ, без участия внешних источников. Данные процессы протекают в измерительной камере с площадью основания 2471 см² или 0,2471 м². В конечном итоге, зная площадь исследуемого участка болотного массива, методом математических пропорций была выведена формула для расчета объема эмиссии метана от исследуемого участка болотного массива:

$$V_{эм.} = (\Delta C \times V_{камеры} \times S_{болота}) / (\Delta t \times S_{осн}),$$

где $V_{эм.}$ – объем эмиссии метана от заданного болота, мг/с;

ΔC – разница концентраций между начальным и конечным измерением, мг/м³ (5,6511 мг/м³);

$V_{камеры}$ – объем измерительной камеры, м³ (0,0815 м³);

$S_{болота}$ – площадь исследуемого болотного массива, м² (6400 м²);

Δt – время между начальным и конечным измерением, сек (3000 сек);

$S_{осн}$ – площадь основания измерительной камеры, м² (0,2471 м²).

Таким образом, объём эмиссии метана от типового участка болота низинного типа составил 3,9763 мг/с или 0,1254 т/год.

Анализируя результаты, полученные в ходе исследований пространственной изменчивости эмиссии метана от различных типов урочищ, согласно классификации В.И. Стурмана, можно сделать вывод о том, что наибольшие объёмы поступления метана фиксируются в ландшафтных единицах, приуроченных к пойме реки Кама и ее притоков (рис. 3).

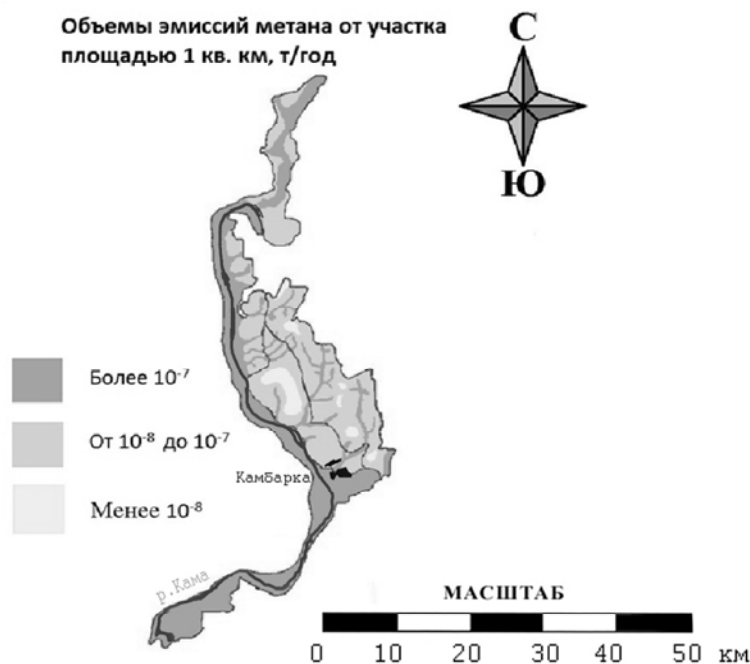


Рис. 3. Объёмы эмиссии метана от урочищ низменного Закамья

Заключение

Пойменные урочища характеризуются наибольшей степенью увлажнения почв, и как следствие, более активным протеканием процессов анаэробного разложения растительности в теплое время года, основным продуктом которого является метан. Объёмы эмиссии метана для такого типа урочищ максимальны на территории исследуемого ландшафта. Склоновые и водораздельные ландшафты характеризуются минимальными объёмами эмиссии метана, что связано с преобладанием в процессе разложения на данных территориях аэробных процессов. В то же время необходимо отметить, что для территории низменного Закамья характерно преобладание болот низинного типа, приуроченных к поймам и нами, в рамках проведения отбора проб, не были зафиксированы верховые болота. В случае наличия верхового болота возможно увеличение эмиссии метана в пределах склоновых и водораздельных урочищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исидоров В.А. Экологическая химия. СПб.: Химиздат, 2001. 116 с.
2. Кароль И.Л., Киселев А.А. Атмосферный метан и глобальный климат // Природа. 2004. № 7. С. 47-52.
3. Природные закономерности содержания метана в угольных пластах / Е.А. Колесниченко [и др.]. М.: Горная книга, 2011. 325 с.
4. Baird A.J., Beckwith C.W., Waldron S., Waddington J.M. Ebullition of methane-containing gas bubbles from near-surface Sphagnum peat // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31. L21505. DOI:10.1029/2004GL021157.
5. Happell J.D., Chanton J.P. Carbon Remineralization in a North Florida Swamp Forest: Effects of Water Level on the Pathways and Rates of Soil Organic Matter Decomposition // Global Biogeochemical Cycles. 1993. Vol. 7. P. 475-490.
6. Happell J.D., Chanton J.P., Whiting G.J., Showers W.J. 1993 Stable Isotopes as Tracers of Methane Dynamics in Everglades Marshes With and Without Active Populations of Methane Oxidizing Bacteria // Journal of Geophysical Research, Vol. 98. N. D8. P. 14771-14782.

7. Chen Y.-K., Prinn R.G. Estimation of atmospheric methane emissions between 1996 and 2001 using a three-dimensional global chemical transport model, *J. Geophys. Res.*, 2006. III, D10307, doi: 10.1029/2005JD006058.
8. Бажин Н.М. Метан в окружающей среде. М.: Химия, 2005. 87 с.
9. Walter B.P., Heimann M., Shannon R.D., White J.R. A process-based model to derive methane emissions from natural wetlands // *Geophysical Research Letters*. 1996. V.23. P. 3731-3734.
10. Казанцев В.С. Эмиссия метана из болотных экосистем северной части Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. М., 2013. 137 с.
11. Christensen T. Seasonal emission of methane from the active layer of organic tundra soils-scale and controlling factors // Joint Russian-American seminar on Cryopedology and global change (November 15-16, 1992, Pushchino). Pushchino: Pushchino Research Centre. 1993. P. 325-341.
12. Геоэкологические проблемы Удмуртии / под ред. В.И. Стурмана. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1997. 167 с.
13. Географический атлас Удмуртской Республики / под общ. ред. И.И. Рысина, 2-изд., перераб. М.: Изд-во ДИК, 2010. 40 с.
14. Рысин И.И. Физико-географическое (ландшафтное) районирование Удмуртии // *Вестн. Удм. ун-та*. 1996. № 3. С. 131-150.

Поступила в редакцию 06.03.2020

Семакина Алсу Валерьевна, кандидат географических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1
E-mail: alsen13@list.ru

Шарипов Линар Рафаилович, инженер сектора пробоотбора
АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды УР»
426003, Россия, г. Ижевск, ул. Карла Маркса, 130
E-mail: linar_995@mail.ru

Гагарина Ольга Вячеславовна, кандидат географических наук
E-mail: olgagagarina@mail.ru

Рубцова Ирина Юрьевна, кандидат географических наук
E-mail: irgubcov@yandex.ru

Платунова Гузель Рашидовна, кандидат биологических наук
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

A.V. Semakina, L.R. Sharipov, O.V. Gagarina, I.Yu. Rubtsova, G.R. Platonova
**METHANE EMISSION FROM NATURAL COMPLEXES OF THE ZAKAMYE LOWLANDS
IN THE TERRITORY OF UDMURTIA**

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-112-118

The methane content largely determines the oxidizing properties of the atmosphere, including greenhouse gases and polluting components. The purpose of this study is to estimate the amount of methane emissions from natural sources. The volumes of methane emission from a typical section of the swamp massif within the Zakamye lowlands in the Udmurt Republic were obtained experimentally. Analyzing the results obtained in the course of this work, it can be concluded that the most intensive methane supply is observed in the tracts located in the floodplain of the Kama River and its tributaries. These tracts are characterized by a high level of soil moisture, and as a consequence, active anaerobic processes in the soil during the warm season. Slope and watershed landscapes are characterized by minimum methane emissions, which is associated with a greater degree of aeration of soils of these territorial units.

Keywords: methane, emission, Zakamye lowlands, Udmurt Republic.

REFERENCES

1. Isidorov V.A. *Ekologicheskaya khimiya* [Ecological chemistry], SPb.: Himizdat Publ., 2001, 116 p. (in Russ.).
2. Karol' I.L., Kiselev A.A. [Atmospheric methane and global climate], in *Priroda*, Moscow: Nauka Publ., 2004, no. 7, pp. 47-52 (in Russ.).

3. *Prirodnye zakonomernosti sodержaniya metana v ugol'nykh plastakh* [Natural patterns of methane in coal beds], Kolesnichenko E.A. et al. (ed.), Moscow: Gornaya kniga Publ., 2011, 325 p. (in Russ.).
4. Baird A.J., Beckwith C.W., Waldron S., Waddington J.M. 2004 Ebullition of methane-containing gas bubbles from near-surface Sphagnum peat, in *Geophysical Research Letters*, 2004, vol. 31, L21505. DOI: 10.1029/2004GL021157.
5. Happell J.D., Chanton J.P. Carbon Remineralization in a North Florida Swamp Forest: Effects of Water Level on the Pathways and Rates of Soil Organic Matter Decomposition, in *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, vol. 7, pp. 475-490.
6. Happell J.D., Chanton J.P., Whiting G.J., Showers W.J. Stable Isotopes as Tracers of Methane Dynamics in Everglades Marshes With and Without Active Populations of Methane Oxidizing Bacteria, in *Journal of Geophysical Research*, 1993, vol. 98, no. D8, pp. 14771-14782.
7. Chen Y.-K., Prinn R.G. Estimation of atmospheric methane emissions between 1996 and 2001 using a three-dimensional global chemical transport model, in *Journal of Geophysical Research*, 2006, D10307, DOI: 10.1029/2005JD006058.
8. Bazhin N.M. *Metan v okruzhayushchej srede* [Methane in the environment], Moscow: Khimiya Publ., 2005, 87 p. (in Russ.).
9. Walter B.P., Heimann M., Shannon R.D., White J.R. A process-based model to derive methane emissions from natural wetlands, in *Geophysical Research Letters*, 1996, vol. 23, pp. 3731-3734.
10. Kazancev V.S. [Methane emission from swamp ecosystems of northern Western Siberia], Cand. Biol. sci. diss., Moscow, 2013, 137 p. (in Russ.).
11. Christensen T. Seasonal emission of methane from the active layer of organic tundra soils-scale and controlling factors, in *Joint Russian-American seminar on Cryopedology and global change* (November 15-16, 1992, Pushchino). Pushchino: Pushchino Research Centre, 1993, pp. 325-341.
12. *Geoekologicheskie problemy Udmurtii* [Geoenvironmental problems of Udmurtia], Sturman V.I. (ed), Izhevsk: Izdvo Udmurt. Univ., 1997, 167 p. (in Russ.).
13. *Geograficheskiy atlas Udmurtskoy Respubliki* [Geographical Atlas of the Udmurt Republic], Rysina I.I. (ed), 2nd ed., Moscow: DIK Publ., 2010, 40 p. (in Russ.).
14. Rysin I.I. [Physical-geographical (landscape) zoning of Udmurtia, in *Vestn. Udmurt. Univ.*, 1996, no. 3, pp. 131-150 (in Russ.).

Received 06.03.2020

Semakina A.V., Candidate of Geography, Associate Professor
Udmurt State University
Universitetskaya st., 1, Izhevsk, Russia, 426034
E-mail: alsen13@list.ru

Sharipov L.R., sampling sector engineer
Direction for Environmental Protection and Nature Management
of the Ministry of Natural Resources of the UR
Karla Marksa st., 130, Izhevsk, Russia, 426003
E-mail: linar_995@mail.ru

Gagarina O.V. Candidate of Geography
E-mail: olgagagarina@mail.ru
Rubtsova I.Yu., Candidate of Geography
E-mail: irrubcov@yandex.ru
Platunova G.R., Candidate of Biology
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

Udmurt State University
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034